

Page Proof Instructions and Queries

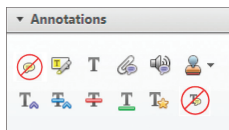
Journal Title: BMS

Article Number: 543755

Greetings, and thank you for publishing with SAGE. We have prepared this page proof for your review. Please respond to each of the below queries by digitally marking this PDF using Adobe Reader.

Click "Comment" in the upper right corner of Adobe Reader to access the mark-up tools as follows:

For textual edits, please use the "Annotations" tools. Please refrain from using the two tools crossed out below, as data loss can occur when using these tools.



For formatting requests, questions, or other complicated changes, please insert a comment using "Drawing Markups."



Detailed annotation guidelines can be viewed at: <http://www.sagepub.com/repository/binaries/pdfs/AnnotationGuidelines.pdf>

Adobe Reader can be downloaded (free) at: <http://www.adobe.com/products/reader.html>.

No.	Query
	Please confirm that all author information, including names, affiliations, sequence, and contact details, is correct.
	Please review the entire document for typographical errors, mathematical errors, and any other necessary corrections; check headings, tables, and figures.
	Please ensure that you have obtained and enclosed all necessary permissions for the reproduction of artistic works, (e.g. illustrations, photographs, charts, maps, other visual material, etc.) not owned by yourself. Please refer to your publishing agreement for further information.
	Please note that this proof represents your final opportunity to review your article prior to publication, so please do send all of your changes now.

Emergence d'une spécialité scientifique dans l'espace -La Réparation de l'ADN

Bulletin de Méthodologie Sociologique

1-19

© The Author(s) 2014

Reprints and permission:

sagepub.com/journalsPermissions.nav

DOI: 10.1177/0759106314543755

bms.sagepub.com



Marion Maisonobe

Université de Toulouse, France

Abstract

The Spatial Emergence of a Scientific Specialty - DNA Repair. In the study of science, the specialty is seen as the ideal level of analysis to understand the genesis and development of the scientific community. This article uses bibliometric data to analyze the emergence of DNA repair by testing a hybrid method to identify the specialty's appearance in geographical space by focusing on the geographical trajectories of the pioneers in this field. We try to identify the professional mobility of researchers using these bibliometric data, and if possible to highlight the structural networks of places during the emergence stage of the specialty. These networks determine places as much as they are built by individual trajectories. In this way, we try to make a place for the geography of science in the field of social studies of science.

Résumé

Dans l'étude des sciences, la spécialité est perçue comme le niveau d'analyse idéal pour comprendre la genèse et le développement des collectifs scientifiques. Cet article utilise des données bibliométriques pour analyser l'émergence de la Réparation de l'ADN en expérimentant une méthode mixte pour repérer son apparition dans l'espace géographique. En nous concentrons sur les trajectoires géographiques de pionniers dans ce domaine, nous tâchons de repérer leur mobilité professionnelle à l'aide de données bibliométriques dans la perspective de mettre en évidence les réseaux de lieux structurants dans la phase d'émergence de la spécialité. Ces réseaux de lieux déterminent autant qu'ils sont construits par les trajectoires individuelles. Nous essayons ainsi de faire une place à la géographie des sciences dans le domaine des études sociales des sciences.

Corresponding Author:

Marion Maisonobe, Université de Toulouse, LISST-Cieu, UMR 5193, Campus Mirail, Maison de la Recherche, 5 allées Antonio Machado, 31058 Toulouse Cedex 9, France

Email: marion.maisonobe@univ-tlse2.fr

Keywords

Bibliometric Data, DNA Repair, Geography of Science, Network of Places, Individual Trajectories, Scientific Mobility

Mots clés

Données bibliométriques, Réparation de l'ADN, Géographie de la science, Réseaux de lieux, Trajectoires individuelles, Mobilités scientifiques

L'émergence et la diffusion d'une nouvelle spécialité scientifique sont des phénomènes difficiles à anticiper et à saisir. Les appréhender suppose une compréhension des principes de formation, de circulation et d'évolution des idées et des connaissances d'une part, de constitution, de développement et d'organisation des collectifs scientifiques, d'autre part. Parmi les études sociales sur la science, les études de cas sur les spécialités scientifiques puisent leurs origines dans une longue tradition de recherche. Il faudrait remonter loin et diriger l'investigation vers la philosophie et l'histoire des sciences pour retracer toute l'histoire des recherches portant sur le progrès et l'évolution des sciences. Au cours des années 1970, un très grand nombre d'études consacrées aux logiques sociales d'organisation et de développement de spécialités scientifiques furent publiées. Ces études, assez hétérogènes, se situent dans la lignée de trois ouvrages : dans l'ordre, en 1962, celui de Thomas Kuhn sur la structure des révolutions scientifiques, la même année, celui de Derek de Solla Price sur la croissance de la science, et en 1972, celui de Diana Crane sur les collèges invisibles (Kuhn, 1962; de Solla Price, 1962; Crane, 1972; Chubin, 1985; Lievrouw et al., 1987).

On retient trois idées fondamentales véhiculées par ces ouvrages. Premièrement, la progression de la science n'est pas un processus linéaire. La progression scientifique peut-être saccadée, rythmée par des événements, comme l'adoption de nouvelles théories, dont la possibilité, la formulation et l'acceptation sont largement soumis au contexte social et cognitif dans lequel les chercheurs évoluent ; mais aussi, même si Thomas Kuhn ne retient pas entièrement ce point, au « style de pensée » qui imprègne la société à un moment et dans un environnement donné (l'idée est de Ludwik Fleck dont l'œuvre a été reprise par Thomas Kuhn : Braunstein, 2003). Deuxièmement, la scientométrie ou l'étude de tout ce qui, en rapport avec la science institutionnalisée, peut être mesuré est un moyen probant de suivre les rythmes de production et d'extraire une image de l'organisation de la production scientifique par l'intermédiaire des relations que l'on peut établir entre les travaux scientifiques (auteurs en commun, institutions en commun, références en commun). Troisièmement, La spécialisation scientifique est une nécessité qui s'explique justement par la croissance de la science. Dès lors, le niveau de la spécialité scientifique est un niveau intéressant pour comprendre l'organisation du travail des scientifiques au sein de « collectifs » ou « communautés » et sa traduction en énoncés scientifiques (Granjou et Peerbaye, 2011).

Dans les années 2000, on enregistre un retour des travaux de sociologie sur les spécialités scientifiques. Parmi les facteurs susceptibles d'expliquer le retour de cette thématique, figurent le regain d'intérêt pour l'analyse de réseaux (Bidart et al., 2010), le

développement de nouveaux logiciels adaptés à cette méthode et la plus grande disponibilité des données bibliométriques à l'ère numérique (Cristofoli, 2008) ; mais aussi, des facteurs cognitifs : le besoin croissant, notamment lié au tournant spatial des études sociales des sciences d'interroger la spatialisation des activités scientifiques (Livingstone, 2003; Besse, 2010), en s'appuyant notamment sur des corpus de données bibliométriques (Frenken et al., 2009) ; le souci d'établir un lien entre la sociologie des pratiques et connaissances scientifiques et les études sociales de spécialités scientifiques (Zuckerman, 1988; Wray, 2005) ; l'impression que les changements conceptuels ont été négligés au bénéfice des facteurs sociaux dans les études de spécialités scientifiques parues dans les années 1970 (Wray, 2005)¹.

Notre article s'inscrit dans ce mouvement de renouveau des études sur les spécialités scientifiques (Morris et Van der Veer Martens, 2008). En s'appuyant sur un cas particulier de la biologie moléculaire, la spécialité de la réparation de l'ADN, il s'agit d'analyser l'émergence d'une spécialité scientifique dans l'espace à l'aide de données bibliométriques. Dans un premier temps, on introduit le cas particulier d'une spécialité de recherche en biologie moléculaire et on discute, en s'appuyant sur des témoignages recueillis lors d'entretiens, des problèmes relatifs à la définition de l'objet. Dans un deuxième temps, on cherche à spatialiser l'émergence de ce collectif mondial à l'aide de données bibliométriques. Il s'agit de saisir les foyers d'émergence de la spécialité et de repérer leurs connexions dans l'espace géographique en considérant des trajectoires individuelles de chercheurs pionniers. On extrait de la base de données *Scopus* des données de cadrage avant de rendre compte d'une série de trajectoires individuelles. Pour finir, les trajectoires reconstituées à partir des informations bibliométriques sont commentées à la lueur de matériaux qualitatifs recueillis lors d'entretiens ou dans un vaste ensemble de récits et documents faisant œuvre de témoignages historiques. Une brève discussion sur la valeur et l'interprétation des résultats obtenus vient conclure cet article qui, parmi ses ambitions, compte celle de souligner l'intérêt d'une intégration de la géographie aux études sociales pour la science (Eckert et Baron, 2013).

Etudier l'émergence d'une spécialité scientifique

Après avoir présenté la spécialité de la Réparation de l'ADN, nous proposons un moyen d'exploiter les informations accessibles à partir d'un index de publications scientifiques pour saisir les foyers d'émergence et l'ancrage géographique de cette spécialité. Le cœur de cette spécialité comprend des études qui interrogent le fonctionnement des mécanismes de réparation de l'ADN. Tout comme la scientométrie s'est affirmée comme spécialité à part entière en 1978 avec la création d'une revue dédiée *Scientometrics*, le collectif qui nous intéresse dispose de sa revue aujourd'hui appelée *DNA Repair*. Celle-ci fait partie d'une collection de revues ayant pour ancêtre commun la revue *Mutation Research* fondée en 1962 aux Pays-Bas (Natarajan, 2007). Il faut attendre les années 2000 pour que *DNA Repair* devienne une revue autonome ce qui suggère que la réparation de l'ADN a fini par devenir une spécialité scientifique intégrée à la biologie moléculaire. C'est la spatialisation de ce processus de spécialisation qui nous intéresse. Puisque les contours de la spécialité sont flous et muables, la délimitation d'un corpus de documents représentatifs de la spécialité pose problème. En effet, la perception que

les chercheurs ont des contours d'une spécialité peut varier d'une équipe à une autre, comme en témoigne le récit ci-dessous. Ce récit a été reconstruit à la suite d'entretiens réalisés en Juin 2011 aux Pays-Bas auprès de chercheurs ayant co-publié des articles sur la réparation de l'ADN.

Les problèmes de définition de l'objet « spécialité scientifique »

Tandis que les chercheurs du domaine rencontrés à Rotterdam n'ont aucune objection à être considérés comme des spécialistes de la réparation de l'ADN, leurs collaborateurs à Leiden (ville-mère de la revue *Mutation Research*) se disent spécialisés dans la recherche sur les mutations et la dégradation cellulaire. Pour eux, cela n'a pas de sens de se dire « spécialistes de la réparation de l'ADN » puisque les recherches sur les mécanismes de réparation sont intimement liées aux études des lésions sur l'ADN (*DNA damages*). Cette histoire suggère que l'appréhension des contours d'une spécialité peut être différente chez des scientifiques concernés par les mêmes travaux y compris quand ils appartiennent à un même pays et à un même groupe de collaboration ; et cette appréhension n'est évidemment pas stable dans le temps. L'appréhension du domaine de recherche dépend de l'expérience que l'on en a localement (Gläser et Laudel, 2001). En l'occurrence, le laboratoire de Leiden et celui de Rotterdam ne sont pas rentrés dans cette thématique avec la même approche et les mêmes intentions.

L'équipe de Rotterdam est, en quelque sorte, le fruit des premières découvertes sur la réparation de l'ADN. Créée en 1972 dans la toute nouvelle université de Rotterdam, elle est dirigée par D. Bootsma qui accepte un poste de choix pour développer, au sein d'une nouvelle équipe, sa thématique de thèse jugée prometteuse pour la biologie cellulaire. Au contraire, le laboratoire de Leiden est antérieur à celui de Rotterdam et à la mise en évidence de mécanismes de réparation de l'ADN. Dès lors, les recherches qui sont effectuées à Leiden demeurent plus traditionnelles et moins spécialisées tandis que la jeune équipe de Rotterdam se montre plus flexible, comme en témoigne son ouverture à la biologie moléculaire dès la fin des années 1970. Sans notre rencontre avec des protagonistes locaux, il aurait été difficile de saisir les spécificités et les causes de ces différentes perceptions du domaine.

Ce récit montre que si nous souhaitions avoir une appréhension vraiment complète du domaine, il faudrait interroger des protagonistes de tous les sites géographiques concernés, ce qui dépasse les prétentions du présent article. Ajoutons que des générations de spécialistes des sciences ont attiré l'attention sur la prudence qu'il fallait avoir avec nos informateurs (Shapin, 1984). A notre sens, il n'est pas question de démêler le vrai du faux entre la définition de Leiden et celle de Rotterdam, mais de retenir de ce récit que les travaux entamés dans les années 1960 sur la réparation de l'ADN ont justifié la création d'équipes « spécialisées » sur la question.

C'est ce phénomène d'apparition d'équipes spécialisées, qui retient notre attention. Notre objectif est de localiser ces équipes spécialisées et de saisir le rôle des trajectoires de quelques pionniers, comme D. Bootsma, dans l'émergence de ces équipes. Quatre courants dans la littérature peuvent être mobilisés à cette intention : les modèles classiques de diffusion de l'innovation (Rogers, 1962; Crane, 1969), la sociologie des sciences et des connaissances scientifiques (Lemaine et al., 1976; Zuckerman, 1988), les modèles

évolutionnistes appliqués à l'économie de l'innovation (*evolutionnary economics* : Boschma et Frenken, 2006), et enfin les approches narratives ou prosopographiques (Lemerrier et Picard, 2010; Abbott, 2011). Avant d'en venir à l'élaboration et la restitution de notre analyse de trajectoires, nous expliquons ce que nous avons retenu de la littérature pour nourrir cette analyse.

Quatre sources d'inspiration pour saisir l'émergence d'une spécialité scientifique

Si l'on devait synthétiser l'apport de ces quatre courants (diffusion de l'innovation, sociologie des sciences, économie évolutionniste, prosopographie) pour envisager l'émergence de la spécialité de la Réparation de l'ADN dans le temps et l'espace, voici ce que nous retiendrions :

1. La communication formelle et informelle entre chercheurs permet la transmission des idées et des savoir-faire nécessaires à l'émergence de spécialités scientifiques. Ce phénomène s'apparente à un processus de diffusion d'innovation à cela près que les produits immatériels qui se diffusent (idées et savoir-faire) se modifient et évoluent en circulant. En constante reconfiguration, l'espace de circulation devient l'espace d'une spécialité scientifique dès lors que la circulation s'organise au sein d'un collectif « globalisé » conscient de partager des intérêts communs.
2. Les pratiques scientifiques sont situées, en particulier, au niveau du laboratoire. C'est dans ce cadre que les biologistes moléculaires sont amenés à agir et travailler quotidiennement. La variabilité des profils de spécialisation d'un laboratoire à un autre s'explique par la diversité des collectifs « localisés » (équipes) qui peuvent s'y former et s'y déformer. Au sein de leurs équipes et dans le laboratoire, les scientifiques ont des statuts, des stratégies et des profils variés (Knorr-Cetina, 1982).
3. S'appuyant sur le principe de la « dépendance du sentier » (*path dependency*), la théorie évolutionniste suggère que l'absorption d'une nouveauté en un lieu donné dépend de ce qui était présent dans ce lieu auparavant et, en ce sens, ne dépend pas essentiellement de la volonté individuelle. Suivant cette logique, le profil de spécialisation d'un laboratoire n'est pas déconnecté des spécialisations présentes auparavant ou simultanément dans ce laboratoire. C'est ce que nous avons observé dans le cas du laboratoire de Leiden.
4. En revanche, « la dépendance du sentier » ne nous permet pas d'expliquer la spécialisation du laboratoire de Rotterdam puisque ce dernier est créé de toute pièce au sein d'une nouvelle université. L'approche narrative, en revanche, nous invite à considérer les trajectoires individuelles et les facteurs institutionnels à la manière de Michel Grossetti et Pierre Mounier-Kuhn pour expliquer la carte d'émergence de l'informatique en France (Grossetti et Mounier-Kuhn, 1995) ou encore de Bruno J. Strasser pour comprendre l'apparition de la biologie moléculaire à Genève (Strasser, 2002). Le développement des recherches sur la réparation de l'ADN à Rotterdam ne se comprend que si l'on considère la trajectoire de D. Bootsma et les facteurs institutionnels ayant permis cette mobilité. Ce dernier

a été conduit à quitter le centre de recherche où il avait fait sa thèse, à savoir le centre national de biologie médicale du TNO (Organisation Nationale de Recherche Appliquée) de Rijswijk pour fonder une équipe dans l'Université de Rotterdam. Le succès de cette opération n'a été possible que parce que l'équipe de radiobiologie de Rijswijk a été victime de coupures budgétaires et encouragée à se consacrer à des recherches plus appliquées.

Les deux derniers points sont essentiels pour notre question tandis que les deux premiers sont importants à garder en mémoire pour l'interprétation des données que nous analysons. Puisque c'est l'émergence de la spécialité dans l'espace géographique qui nous intéresse, les troisième et quatrième propositions sont au fondement de notre approche mixte mêlant analyses bibliométrique et narrative ou prosopographique.

Méthode et résultats

En tenant compte de ces propositions, nous avons mis au point une méthode mixte pour étudier l'apparition de plusieurs équipes spécialisées dans la réparation de l'ADN en différents points du globe au stade d'émergence du domaine de recherche.

Données quantitatives de cadrage - L'émergence de la spécialité

A partir d'un corpus bibliographique extrait de la base de données *Scopus* (détenue par l'éditeur scientifique *Elsevier*), nous repérons les équipes spécialisées dans la réparation de l'ADN au cours de la phase d'émergence. Le corpus que nous avons utilisé est un corpus de documents scientifiques (notes, articles, *review*), publiés entre 1965 et 1975, ayant en commun de spécifier le mot-clef « DNA Repair » dans le titre (mais aussi, quand ils sont renseignés dans la base, dans l'abstract et la liste de mots-clefs des publications). Aujourd'hui, il existe au total plus de 70 000 documents indexés avec ce mot-clef. Les premiers datent du milieu des années 1960 aux Etats-Unis. Etudier l'apparition des études sur la réparation de l'ADN uniquement à l'aide du mot-clef « DNA Repair » est illusoire dans la mesure où les premières recherches qui relèvent de cette spécialité sont antérieures à l'utilisation du mot-clef. Elles remontent aux années 1950, période où l'on a découvert le premier mécanisme de réparation de l'ADN ou réparation par « photo-réactivation » (Friedberg, 2007). Avant que l'usage du mot-clef « DNA Repair » ne se répande, d'autres mots étaient employés comme « Restauration » de l'ADN ou « Dark Repair ». Ainsi, les premiers articles avec le mot-clef « DNA Repair » ne sont pas les premiers articles de recherche qui paraissent sur cette thématique.

Bien qu'il existe une méthode féconde appelée « co-word analysis » permettant d'étudier l'évolution des mots-clefs dans un corpus de textes (Roth, 2005; van Meter, 2006; Bonaccorsi et Vargas, 2010), nous avons choisi de nous en tenir à l'utilisation de la seule expression « DNA Repair » comme marqueur d'apparition de la spécialité et comme critère de délimitation du corpus. Dès lors, plus que la formation du collectif, ce que nous pouvons vraiment saisir à l'aide de ce corpus, c'est la diffusion de cette formulation sachant que celle-ci vient des Etats-Unis – à l'heure où la théorie de l'information attire l'attention des radiobiologistes et les rapproche des préoccupations des premiers

biologistes moléculaires (Yi, 2007). Dans les faits, nous avons constaté que la plupart des chercheurs du monde déjà impliqués dans ce domaine dans les années 1960 sont amenés à publier leur premier article « DNA repair » entre 1970 et 1973. Ainsi, cette taxonomie reste peu utilisée avant de faire son entrée dans le thésaurus de la *National Library of Medicine* américaine en 1971 (Friedberg, 1997). A partir de cette date, on assiste à une brusque croissance du nombre d'articles utilisant ce mot-clef ce qui témoigne de la considérable influence de la science américaine à l'époque (de 8 publications durant l'année 1969, la production passe à 139 en 1971 et 565 en 1975).

Compte tenu de l'adoption tardive du mot-clef, il n'est pas pertinent de considérer que la date de publication des premiers articles spécifiant « DNA Repair » en un lieu donné avant les années 1970 coïncide avec la date d'apparition de la thématique de recherche dans ce lieu. Nous refusons d'établir une chronologie d'adoption de la thématique de recherche pendant la phase d'émergence sur la base de ce seul critère. Pour la phase d'émergence, nous n'utilisons le corpus bibliométrique que pour repérer les villes, les laboratoires et les chercheurs qui se spécialisent dans la question. Cela suppose de retenir un critère de spécialisation et nous avons choisi de considérer que n'importe quelle équipe ayant fait le choix de la spécialisation, avait dû publier près d'une dizaine d'articles avec le mot-clef « DNA Repair » avant 1975. Le choix de la base *Scopus* s'est imposé car les documents retournés pour une requête sur la période 1965-1975 sont plus nombreux – il y a en a 1804 au total – qu'avec une requête dans le *Web of Science* et les informations qui accompagnent les documents, en particulier les adresses institutionnelles des auteurs, y sont mieux renseignées (Maisonobe, 2013b).

Ce résultat vient du fait que, pour les années antérieures aux années 1990, *Scopus* rassemble des notices bibliographiques issues de plusieurs bases ce qui, en contrepartie, entrave la significativité du corpus obtenu. Y compris avec le résultat renvoyé par *Scopus* pour 1965-1975, les documents indexés sont mal renseignés et il n'est pas rare que certaines adresses ne soient pas enregistrées du tout. En particulier, en cas de collaborations entre plusieurs laboratoires, il est fréquent qu'il n'y ait qu'une seule adresse qui soit spécifiée ce qui empêche d'identifier les collaborations entre laboratoires pour cette période. Pour pallier aux données manquantes, quand aucune adresse n'était renseignée pour un article donné, nous avons complété, quand elle était disponible dans le même corpus, par l'affiliation d'au moins un des auteurs de l'article. Signalons qu'en itérant les affiliations d'auteurs pour réduire les données manquantes nous sommes responsables de l'introduction d'informations approximatives dans notre corpus (approximations que nous avons jugées préférables à l'absence d'information). En suivant cette procédure, il ne restait que 129 publications (sur 1804) auxquelles nous avons été incapables d'attribuer une adresse.

Une fois complétées suivant la procédure que nous venons de décrire, les données ont été harmonisées ou « nettoyées » pour ne conserver qu'une variante possible de dénomination par adresse de laboratoire. Suite au nettoyage, un champ « ville » a été isolé à partir du champ « adresse » pour être mis en relation avec la table de correspondance « ville » - « agglomérations urbaines » conçue dans le cadre du programme ANR Geoscience (Eckert et al., 2013). A l'issue de cette opération, nous avons produit une carte de la répartition mondiale des publications scientifiques utilisant la taxonomie « DNA Repair » au niveau des agglomérations urbaines entre 1965 et 1975. La carte permet d'identifier les lieux de

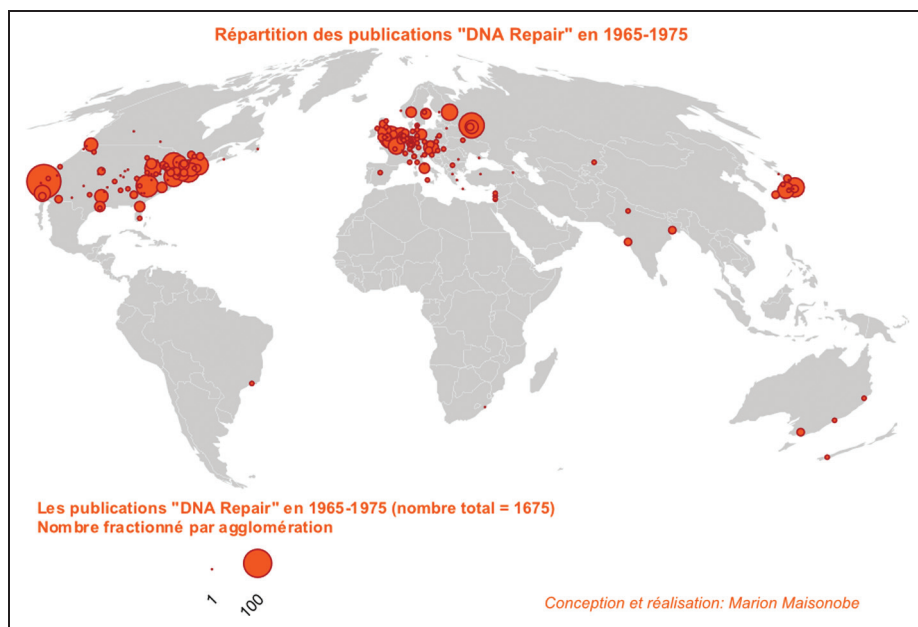


Figure 1. Répartition géographique des 1675 publications « DNA Repair » (1965-1975)

concentrations de l'activité scientifique sur la réparation de l'ADN et d'identifier les foyers des recherches. On en repère cinq : aux Etats-Unis : la côte californienne et la mégapole de la côte Est ; de l'autre côté de l'Atlantique : l'Europe du Nord-Ouest, la Russie et le Japon (Figure 1).

Le comptage des publications par agglomération auquel nous avons procédé pour réaliser la carte est un comptage entier fractionné (*Whole Normalized Counting*). Le crédit accordé à une ville donnée pour un article donné dépend du nombre de villes ayant été impliquées dans la co-signature de cet article (Gauffriau et al., 2008). Puisque très peu de collaborations scientifiques sont correctement renseignées dans ce corpus, le choix de ce mode de comptage n'a pas d'incidence notable sur les résultats. Sur la base de ce comptage, nous avons identifié une liste de 42 agglomérations urbaines d'où ont été signés au moins dix articles avec le mot-clef « DNA Repair » entre 1965 et 1975 (Figure 2) :

Dans un deuxième temps, nous avons harmonisé intégralement le champ « adresse » pour obtenir la liste des institutions scientifiques d'où furent signés au moins 10 articles « DNA repair » entre 1965 et 1975 (comptage entier non fractionné). Elles sont 48 (Figure 3).

On constate que dans la liste d'institutions « spécialisées » (Figure 3), il n'y a pas d'institutions allemandes, scandinaves et italiennes alors que Berlin, Francfort, Heidelberg, Stockholm, Oslo et Rome figurent parmi les agglomérations « spécialisées » (Figure 2). Cela suppose que les publications provenant de ces agglomérations sont le fruit d'institutions, d'équipes et d'auteurs « non spécialisés ». Compte tenu du critère de spécialisation que nous avons retenu, le volume de recherches qu'ils consacrent à la réparation de l'ADN n'est pas suffisant pour les considérer dans notre étude.

Les agglomérations urbaines d'où proviennent au moins 10 publications "DNA Repair" en 1965–1975		
San Francisco Bay Ca United States	Philadelphia Pa United States	Rome Italy
Moscow Russia	Vancouver Bc Canada	Houston Tx United States
New-York Ny United States	Manchester England United Kingdom	Oslo Norway
Knoxville Tn United States	Vienna Austria	Ithaca Ny United States
London England United Kingdom	Dallas Tx United States	Birmingham Al United States
Boston Ma United States	New-Haven Ct United States	Mishima Shizuoka Japan
Tokyo Tokyo Japan	Pushchino Russia	Baltimore Md United States
Bethesda Md United States	Toronto On Canada	Rochester Ny United States
Leiden-Rotterdam Netherlands	Durham Nc United States	Edinburgh Scotland United Kingdom
Los-Angeles Ca United States	Berlin Germany	Heidelberg Germany
St-Petersburg Russia	Gainesville Fl United States	Fukuoka Fukuoka Japan
Brighton England United Kingdom	Bratislava Slovakia	Brussels Belgium
Kyoto Kyoto Japan	Madison Wi United States	
Paris France	Frankfurt Germany	
Chicago Il United States	Stockholm Sweden	

Figure 2. Liste des agglomérations urbaines spécialisées dans la réparation de l’ADN entre 1965 et 1975 (Source : *Scopus*)

Une fois ces données de cadrage recueillies, nous cherchons dans quelle mesure la trajectoire de quelques auteurs pionniers permettrait de mieux appréhender la connexion spatiale des lieux de recherche sur la réparation de l’ADN au cours de la phase d’émergence de la spécialité.

Les parcours des pionniers dans l’espace géographique

Plusieurs méthodes ont été envisagées pour sélectionner les chercheurs pionniers sur lesquels nous focaliser. Nous avons opté pour une méthode simple permettant de se concentrer sur des auteurs qui, en ayant fait le choix d’utiliser régulièrement le mot-clef « DNA repair » dès son apparition, ont manifesté leur implication dans la spécialité dès sa phase d’émergence. En adoptant cette attitude, ces auteurs ont contribué à faire exister la dite « spécialité ». Pour sélectionner ces auteurs, nous avons, à nouveau, utilisé le corpus de document constitué à partir de la base *Scopus*. Nous avons harmonisé le champ « auteur » pour obtenir la liste de ceux qui ont publié au moins 10 publications « DNA repair » entre 1965 et 1975 (comptage entier non fractionné). Ils sont 35 (Figure 4).

Nous avons ensuite cherché à reconstituer la mobilité de ces auteurs à partir des informations bibliométriques. A chacun des 35 auteurs, nous associons une ou plusieurs affiliations. Il s’agit de renseigner pour chaque auteur, l’ensemble des affiliations qu’il a occupé, l’ordre d’occupation et sa durée. Ces informations sont, avec les imprécisions déjà évoquées, accessibles dans la base *Scopus* puisqu’à chaque article publié, les auteurs signalent une affiliation qui est indexée avec l’article dans la base. En explorant

Laboratoires d'où proviennent au moins 10 publications "DNA Repair" en 1965–1975		
Stanford Univ., US	Harvard Univ., US	Johns Hopkins Univ., US
Oak Ridge Nat. Lab. & Tennessee Univ.	Univ. Texas, Dallas, Richardson, US	Univ. Chicago, US
Univ. California, San Francisco	Univ. Tokyo, Japan	Cornell Univ., Ithaca, US
Univ. Sussex, Brighton, UK	University of California, Berkeley	Brandeis Univ., US
NCI, NIH, Bethesda, MD, US	Temple Univ., US	Nat. Inst. Genet., Mishima, Japan
Acad. Sci. USSR, Leningrad, Russia	Argonne Nat. Lab., IL, US	Univ. Alabama, US
Acad. Sci. USSR, Moscow, Russia	Forsch. Zent., Seibersdorf, Austria	Univ. Rochester, US
ICR, London, UK	Univ. Florida, Gainesville, US	Inst. Environm. Hlth Sci., Research Triangle Park
USSR Acad. Med. Sci., Moscow	Brookhaven Nat. Lab., US	Michigan State Univ., East Lansing, US
Univ. British Columbia, Vancouver	Nat. Canc. Cent. Res. Inst., Japan	Atom. Energy Canada Ltd, Chalk River
Yale Univ., US	Univ. Wisconsin, Madison, US	Free Univ Bruxelles
UCLA, Los Angeles, US	Cancer Res. Inst., Slovak Acad. Sci.	Inst. Atom. Energy, Moscow, Russia
Leiden State Univ., NDL	Fond. Curie inst radium, France	Kyushu Univ., Japan
Osaka Univ., Japan	Rutgers Univ., New Brunswick, US	USSR Acad. Med. Sci., Obninsk, Russia
Christie Hosp., Holt Radium Inst., UK	TNO Rijswijk, NDL	York Univ., Toronto, Canada
Acad. Sci., Pushchino, Russia	Colorado State Univ., Fort Collins, US	

Figure 3. Liste des institutions spécialisées dans la réparation de l'ADN entre 1965 et 1975
(Source : *Scopus*)

directement la base en ligne, nous avons noté, pour chaque auteur, l'ordre d'apparition des affiliations qu'il a occupé à partir de 1960 et leur durée. Ces informations servent d'approximation pour suivre la trajectoire géographique des scientifiques.

Comme on pouvait s'y attendre, les 35 pionniers ne peuvent à eux-seuls expliquer l'ensemble du phénomène d'émergence. Ensemble, ils ont écrit 397 publications « DNA Repair » entre 1965 et 1975, soit un peu plus de 20% de l'ensemble des publications parues à cette période. Entre 1960 et 1975, ils sont passés par 33 institutions « spécialisées » et 25 agglomérations urbaines d'importance pour la spécialité. Les lieux les plus fréquentés par ces auteurs se trouvent pour les 2/3 (14 agglomérations sur 25) aux Etats-Unis.

Il faut avoir à l'esprit que l'information n'est pas de qualité égale dans la base. En parcourant la base pour reconstituer les trajectoires institutionnelles des chercheurs « spécialisés » ou « pionniers », on observe que les notices des articles publiées dans des

Auteurs ayant signés au moins 10 publications “DNA Repair” en 1965–1975		
Smith, K.C.	Skavronskaya, A.G.	Elkind, M.M.
Cleaver, J.E.	Witkin, E.M.	Harm, W.
Bridges, B.A.	Eberl, R.	Sedgwick, S.G.
Stich, H.F.	Kondo, S.	Byfield, J.E.
Setlow, R.B.	Regan, J.D.	Fox, B.W.
Painter, R.B.	Roberts, J.J.	Friedberg, E.C.
Altmann, H.	Setlow, J.K.	Klein, W.
Hanawalt, P.C.	Trosko, J.E.	Robbins, J.H.
Fox, M.	Wu, R.	Sedliakova, M.
Lieberman, M.W.	Bootsma, D.	Youngs, D.A.
Zasukhina, G.D.	Cerutti, P.A.	Paterson, M.C.
Gaziev, A.I.	Dubin, N.P.	

Figure 4. Liste des pionniers de la spécialité ayant signés au moins 10 publications « DNA Repair » entre 1965 et 1975 (Source : *Scopus*)

revues en anglais sont mieux et plus systématiquement renseignées que les notices d’articles de revues en russe, japonais, français ou allemand. Afin de synthétiser les informations obtenues sur les carrières des auteurs, nous avons opté pour une représentation graphique. Nous avons construit un graphe bipartite (*two-mode*) auteurs-institutions (Beauguitte, 2013). Sur la représentation, la couleur des liens dépend de l’ancienneté de la relation, l’idée étant de garder une trace de l’ordre d’occupation des institutions (les liens noirs sont ceux qui lient un auteur, ayant occupé au moins deux institutions différentes entre 1960 et 1975, à la plus ancienne institution qu’il a occupé ; et les liens gris, à la dernière institution fréquentée avant 1975). La représentation graphique permet de mettre en évidence des faits longitudinaux intéressants.

En premier lieu, on constate que le réseau est doté d’une composante principale à laquelle appartiennent 14 des 35 auteurs dont nous avons suivi la trajectoire. On peut présumer qu’il s’agit là d’un groupe auteurs-institutions central pour l’émergence de la spécialité. Cet ensemble regroupe des institutions en majorité américaines. Des institutions anglaises, néerlandaises et canadiennes y sont aussi rattachées (l’Université du Sussex et le Medical Research Center à Brighton ; l’Université de Leiden ; le Centre de recherche en énergie atomique de Chalk-River au Canada et celui de Harwell en Grande-Bretagne).

En dehors de cet espace d’interaction dense, 9 chercheurs sont isolés et ne partagent d’institutions avec aucun autre chercheur ; 3 spécialistes sont à Moscou mais ne changent pas d’adresses entre 1960 et 1975 ; un groupe de co-auteurs est en Autriche ; 2 chercheurs (le couple Fox) sont à Manchester tout au long de la période et enfin D. Bootsma a une trajectoire proche mais indépendante de l’Université de Leiden². On remarque que les chercheurs du bloc de l’Est (Russie et Tchécoslovaquie) ne sont pas concernés par la mobilité institutionnelle. On ne trouve de traces de mobilité ni avec l’international ni à l’intérieur du bloc de l’Est.

La France et la Belgique sont absentes de la représentation alors que l’Institut du Radium à Saclay et l’Université Libre de Bruxelles figurent parmi les institutions « spécialisées » (Figure 3). Pour autant, il n’y a pas dans ces pays de chercheurs ayant signés

au moins 10 publications « DNA repair » dans des revues indexées par *Scopus* entre 1965 et 1975 d'où le fait que les pionniers francophones du domaine ne figurent pas sur la représentation.

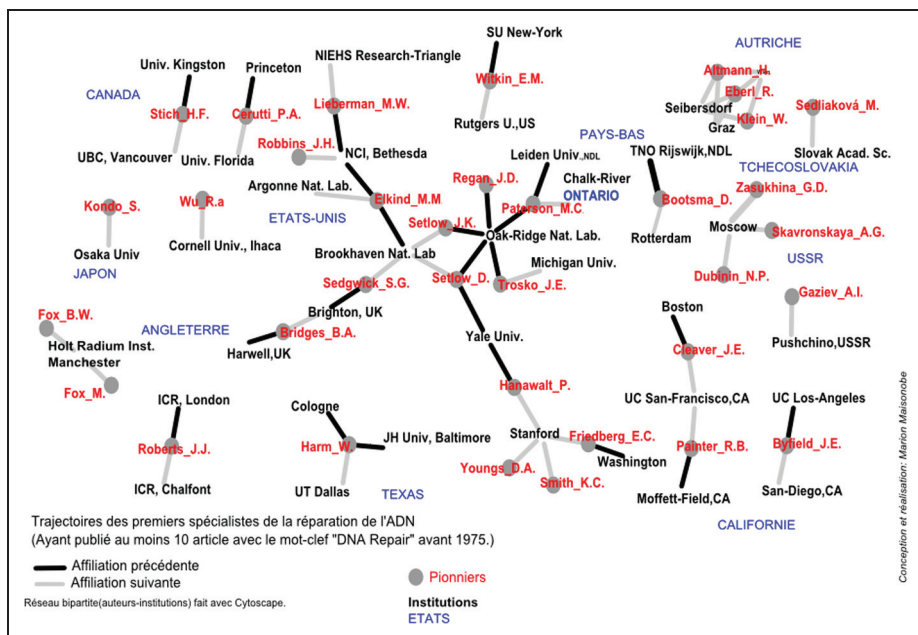
Pour pouvoir interpréter cette représentation, les informations biographiques recueillies au sujet des chercheurs de la réparation de l'ADN, les synthèses historiques écrites par les pionniers du domaine comme E. C. Friedberg ainsi que son ouvrage (Friedberg, 1997), et les entretiens que nous avons mené aux Pays-Bas s'avèrent essentiels. Comme le montre le sociologue Rafaël Stofer, les informations accessibles à travers les publications ne permettent de saisir que partiellement et imparfaitement les dynamiques du milieu scientifique (Stofer, 2002). C'est ce qui explique l'intérêt des approches mixtes et de l'interdisciplinarité dans le domaine de la scientométrie (Lievrouw et al., 1987; Leydesdorff, 1989; Laurens et al., 2010).

Histoires de la formation d'un espace pour la spécialité

Le berceau américain. Les nombreux écrits qui retracent l'histoire de la réparation de l'ADN mettent en avant D. Setlow (Oak Ridge) et P. Hanawalt (Stanford) qui ont prouvé l'existence de la réparation de l'ADN par excision de nucléotide (NER) en 1964. Il s'agit d'un mécanisme permettant de réparer les lésions sur l'ADN provoquées par des agents extérieurs comme les rayons UV. Les témoignages de D. Setlow et P. Hanawalt sur cette période racontent la découverte et la teneur de leurs échanges avant la publication des articles fondateurs qu'ils publient indépendamment en 1964 (Hanawalt, 2010; Setlow, 2005). Après 1964, P. Hanawalt et D. Setlow jouent un rôle important en formant des scientifiques et en organisant des rencontres. Rien d'étonnant alors à ce que la composante principale du réseau de trajectoires s'articule autour de ces deux personnages (Figure 5). Comme on peut l'observer sur la représentation, ils sont tous deux issus de l'Université de Yale où Setlow était le « mentor » d'Hanawalt. Les lieux où ils ont passé la plus grande partie de leur carrière, Stanford et Oak-Ridge sont les lieux les plus connectés de la figure, c'est-à-dire, les lieux par lesquels sont passés le plus de pionniers de notre échantillon.

La découverte du NER génère un enthousiasme parmi les photobiologistes et radiobiologistes qui s'intensifie en 1968 quand le post-doctorant J. Cleaver découvre l'existence du lien entre une maladie orpheline (*Xeroderma Pigmentosum* alias « la maladie de la lune ») et un dysfonctionnement de ce mécanisme. Cette découverte a lieu dans le nouveau laboratoire de Radiobiologie de UCSF dirigé par R. Painter. Pour en assurer la direction, ce dernier a tout juste quitté le centre de recherche de la NASA situé à Moffett-Field aux alentours de San Francisco (Ames Research Center). D'après Hanawalt, en établissant un lien entre les mécanismes de réparation de l'ADN et le cancer, la découverte du post-doctorant Cleaver en 1968 place ce nouveau champ de recherche en « orbite » et débloque des financements. Sur la Figure 5, la composante Cleaver - Université de San Francisco - Painter est indépendante de la composante principale. Néanmoins, nous savons, grâce aux récits d'Hanawalt, qu'en plus de partager une proximité géographique, Hanawalt et Painter étaient en contact (Hanawalt, 2003).

Les récits des américains s'accordent à dire que l'une des premières grandes rencontres internationales sur la réparation de l'ADN fut celle organisée en 1974 par Hanawalt



et Setlow à Squaw Valley en Californie. Elle attire 200 participants. Ayant occupé son premier poste à Stanford, Friedberg se souvient que Stanford est alors le siège d'« une communauté de la réparation de l'ADN en miniature » avec entre autres : K. C. Smith au département de radiologie, Hanawalt au département de biologie ou encore A. Kornberg au département de biochimie (Friedberg, 2005). D'une autre nature et de l'autre côté du pays, le lieu de travail de Setlow est tout aussi structurant. Il s'agit de la division de biologie du laboratoire national d'Oak Ridge (Tennessee), où Setlow exerce avec sa femme. Un très grand nombre de jeunes chercheurs viennent s'y former. D'après Setlow, « Grâce aux efforts de son directeur Alexander Hollaender, c'était l'un des plus grand centre de biologie du monde. Il avait du personnel et de l'expertise en biophysique, biochimie, génétique, immunologie, pathologie, carcinogénèse, etc. et des équipements de qualité dans tous les domaines. »³ (Setlow, 2005).

Le laboratoire d'Oak Ridge de même que le TNO à Rijswijk (Pays-Bas), le Centre de recherche de Chalk-River au Canada, ou celui d'Harwell dans le Berkshire (Grande-Bretagne) sont des laboratoires nationaux largement soutenus après la guerre pour étudier et développer l'utilisation pacifique de l'énergie atomique à des fins médicales, industrielles et de sécurité intérieure. Après guerre, les radiobiologistes qui y travaillent tâchent d'étudier les effets des radiations sur les cellules vivantes. Généralement opposés aux essais nucléaires, ces chercheurs s'intéressent au lien entre santé et radiation. Convaincus des dangers des radiations sur le corps humain, ils ne s'attendent pas à trouver que les cellules sont capables de réparer des lésions provoquées par

les radiations (Yi, 2007). De nombreux pionniers du domaine ont connu cette histoire. À partir des années 1970, les centres de recherche nucléaire deviennent réticents à financer de telles recherches fondamentales. Par la même occasion, les recherches sur la réparation deviennent un peu plus légitimes aux yeux des biologistes moléculaires et généticiens « classiques » (Friedberg, 1997, 2007, et entretiens aux Pays-Bas). Cette évolution explique la fréquence des déplacements de pionniers vers des départements universitaires qui sont visibles sur la Figure 5 (par exemple, les mobilités de D. Bootsma, B. Bridges et J. Trosko qui se traduisent par la création d'équipes spécialisées dans la réparation de l'ADN à Brighton, Rotterdam ou East-Lansing).

Ces quelques histoires confortent la pertinence de la représentation graphique obtenue à partir de l'information bibliométrique. En suivant la trajectoire des auteurs sur le graphe, nous retrouvons les connexions, évoquées dans les récits des origines, entre les principaux foyers de la spécialité et pouvons retracer la genèse de certaines équipes spécialisées apparues dans les années 1970. Cela dit, quand on se fie à la représentation et aux récits des biologistes américains, il semble que l'essentiel de l'action se déroule sur le sol américain. Or, à l'issue de notre rencontre avec K. Jaspers et D. Bootsma à l'Université de Rotterdam en Juin 2011, la situation est moins évidente. Pour Jaspers, le domaine Excision Repair est un domaine ayant la particularité d'être dominé par les chercheurs européens et notamment néerlandais et Bootsma considère que c'est au Pays-Bas que s'est tenu la première grande rencontre internationale sur la réparation de l'ADN dans les années 1970. De plus, les informations bibliométriques suggèrent qu'il se passe également des choses en Russie, en Autriche et au Japon. Or, la contribution des auteurs de ces pays à l'émergence de la spécialité est évoquée plus rarement dans les récits qui participent à fonder la mythologie du domaine. En suivant les pistes indiquées par les informations bibliométriques, nous avons pu en retrouver des traces.

De l'autre côté de l'Atlantique. S'ils sont actifs sur la question, la figure 5 que nous avons obtenue suggère que les chercheurs soviétiques sont isolés pendant cette époque de guerre froide. D'après les observations des Setlows, certains s'intéressent à la littérature occidentale : « Les généticiens soviétiques sont apparemment divisés en deux camps : ceux qui croient au « Darwinisme créatif » (comme les Lysenkoïstes) et les individus qui, comme Dubinin, sont influencés par le travail de l'Ouest »⁴ (Setlow et Setlow, 1961). Parmi ces derniers, il y en a même qui arrivent à publier dans les revues occidentales, comme l'illustre l'article paru dans *Mutation Research* en 1971 cosigné par A. G Skavronskaya et Yu S. Kondratiev (Institut Gamelaya d'épidémiologie et de microbiologie de l'Académie des sciences médicale de Moscou). C'est le premier article russe publié avec le mot-clef « DNA Repair ». Pour autant, la mobilité des soviétiques est faible, y compris leur « mobilité temporaire » (l'expression est empruntée à Torre, 2008), si bien que contrairement aux pionniers européens ou japonais, les russes sont rarement mentionnés parmi les présents aux rencontres qui se tiennent sur le sujet pendant la phase d'émergence).

En Europe, deux organismes participent à l'organisation d'un collectif de chercheurs travaillant sur la réparation de l'ADN : il s'agit d'Euratom et de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA). Euratom est constitué en 1957 par les membres de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier. Cet organisme contribue dès

1973 à financer des recherches collaboratives au niveau européen en faveur de l'utilisation pacifique de l'énergie atomique. De son côté, l'AIEA est un organisme internationale émanant de l'ONU chargé également de veiller aux bons usages de l'énergie atomique. L'un des centres de recherche de l'AIEA est basé dans la région de Vienne en Autriche où se trouve le groupe d'auteurs autrichiens (Figure 5). Curieusement, on ne trouve aucune trace de ce groupe dans les récits et documents disponibles en ligne. Nous pensons que leurs travaux peuvent s'expliquer par la présence de l'AIEA et par la tenue en 1966 à Vienne d'une rencontre sur les mécanismes de réparation dont se souvient Hanawalt (Hanawalt, 2003). D'après les marqueurs bibliométriques, le groupe autrichien cesse son activité au cours des années 1980.

La situation est différente pour les équipes franco-belges et japonaises qui contribuent à la découverte de plusieurs mécanismes de réparation de l'ADN dans les années 1970. Paradoxalement, ils sont parfois évoqués par les américains alors qu'ils sont moins visibles que les autrichiens dans le corpus bibliométrique (Figure 5). Dans les récits, en particulier les récits de pionniers français, on découvre que les français venaient régulièrement améliorer leurs compétences auprès des équipes américaines (notamment à Oak Ridge, Stanford, Yale et Bethesda qui sont centrales sur la Figure 4). Par exemple, R. Devoret s'est procuré des cellules *E. coli* sensibles auprès de P. Howard-Flanders⁵ à Yale pour les distribuer en Europe et jusqu'en URSS (Devoret, 2001). A propos de la Conférence Internationale des recherches sur les Radiations qui se tient à Evian en 1970, Devoret (Institut du Radium, Paris) se souvient: « Une fois encore, le nombre et la qualité des chercheurs américains participant à un tel événement m'impressionna ; parmi eux, l'un des plus important était Dick Setlow. »⁶ (Devoret, 2001). Ce témoignage laisse penser que la domination du champ était bien américaine à l'origine. Pour autant, une active communauté de chercheurs européens issus pour la plupart de la radiobiologie et bénéficiant de soutiens financiers européens et internationaux participe avec les Etats-Unis à la formation d'un espace mondial pour la communauté au cours des années 1970 et 1980. Avant cela, il est intéressant de signaler que Devoret et A. Rörsch organisent des cours au CEA de Saclay et au TNO de Rijswijk, sur le modèle des cours de Cold Spring Harbour, qui contribuent à populariser les recherches biologiques sur les radiations dans les années 1960 (Friedberg, 1997; Devoret, 2001). M. Radman qui est maintenant un scientifique français reconnu pour avoir prouvé l'existence du phénomène « SOS repair » a démarré sa carrière en participant à ces cours européens de biologie des radiations (Friedberg, 1997: 171-83).

Conclusion

Mettre les données bibliométriques en face des récits de pionniers du domaine de recherche nous a permis de ne pas perdre de vue la différence entre l'histoire officielle et l'activité mesurable. Les récits confirment que des recherches sur la réparation du matériel génétique étaient menées dans la plupart des pays disposant de centres de recherche sur l'énergie atomique bien avant l'entrée du mot-clef « DNA Repair » à la *National Library of Medicine*. Nos données montrent que les américains, en particulier Setlow et Hanawalt, y ont largement contribué. Ils ont eu les moyens et la volonté de promouvoir un collectif de recherche international sur la réparation de l'ADN qui

s'autonomise peu à peu de la radiobiologie et de la photobiologie pour s'intégrer à la biologie moléculaire. Plusieurs trajectoires de pionniers traduisent cette évolution. La représentation de trajectoires sous la forme d'un graphe nous permet d'analyser la construction d'un espace d'interactions scientifiques avec ses centres et ses périphéries.

En plus de son apport à la géographie des sciences, cette étude est novatrice à deux égards. D'une part, nous avons analysé la mobilité géographique des scientifiques en s'appuyant sur des données bibliométriques ce qui est encore très rare (Laudel, 2003, Frenken et al., 2009). D'autre part, sensible à la nécessité de mieux saisir les phénomènes relationnels en dynamique (Taramasco et al., 2010; Maisonobe, 2013a), nous avons proposé une utilisation de l'analyse de réseau à partir de données longitudinales.

Notes

1. La distinction entre le social et le cognitif est sujette à discussion : c'est un point sur lequel la sociologie des pratiques et des connaissances scientifiques a été plutôt bavarde comme le rappelle Steven Shapin dans « Here and Everywhere : Sociology of Scientific Knowledge » (Shapin, 1995).
2. Pour une meilleure lisibilité et dans la mesure des possibles, nous avons choisi de positionner les composantes en fonction de leur plus ou moins grande proximité géographique.
3. L'original: « As a result of the efforts of the Division Director, Alexander Hollaender, it was one of the largest biology research centers in the world. It had scientific personnel and expertise in biophysics, biochemistry, genetics, immunology, pathology, carcinogenesis, etc. and state-of-the-art equipment in all fields, that included a high –energy monochromator. ».
4. L'original: « Soviet geneticists are apparently divided into two warring camps: those who believe in “creative Darwinism” (akin to Lysenkoism) and those individuals who have been influenced by Western work, such as Dubinin (whose 1956 article shows acquaintance with the work of Benzer, Muller, Hershey and Chase, and the Watson-Crick DNA model). ».
5. Paul Howard-Flanders est un radiologiste venu d'Angleterre dans les années 1950 qui contribue avec son post-doctorant Boyce à la mise en évidence du mécanisme de réparation de l'ADN par excision de nucléotide dans le département de Yale. Tous deux publient des preuves de l'existence de ce mécanisme dans le même numéro qui publie la découverte de Setlow en 1964. La discussion sur la priorité de la découverte n'a jamais été totalement réglée (Yi, 2007). En revanche, davantage qu'Howard-Flanders ou Boyce, Setlow et Hanawalt ont cherché à constituer un collectif et une spécialité autonome de recherche autour des mécanismes de réparation de l'ADN, en témoigne le volume de publications qu'ils ont consacré à la question.
- 6 L'original: « Once more, the number and quality of the American scientists participating in such an international meeting impressed me. Among them, the most prominent was Dick Setlow, who had discovered nucleotide excision repair. ».

Références

- Abbott AD (2011) Time Matters. Traduction de l'épilogue par Claire Lemerrier et Carine Ollivier. *Terrains & Travaux*. 2(19): 183-203.
- Beauguitte L (2013) L'analyse des graphes bipartis. *Synthèse du groupe fmr*. <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00794976>.
- Besse JM (2010) Approches spatiales dans l'histoire des sciences et des arts. *L'Espace géographique* 39: 211-24.

- Bidart C, Degenne A, Grossetti M et Lemerrier C (2010) Réseaux sociaux - Une « French touch » ? Retour sur l'école thématique CNRS « Réseaux sociaux - Enjeux, méthodes, perspectives », Cargèse (Corse), 15-20 septembre 2008. *Bulletin de Méthodologie Sociologique* 106: 45-58.
- Bonaccorsi A et Vargas JS (2010) Proliferation Dynamics in Emerging Sciences. *Research Policy* 39(8): 1034-50.
- Boschma R et Frenken K (2006) Why is Economic Geography not an Evolutionary Science? Towards an Evolutionary Economic Geography. *Journal of Economic Geography* 6(3): 273-302.
- Braunstein JF (2003) Thomas Kuhn Lecteur de Ludwik Fleck. *Archives de Philosophie* (3): 403-22.
- Chubin DE (1985) Beyond Invisible Colleges - Inspirations and Aspirations of Post-1972 Social Studies of Science. *Scientometrics* 7(3): 221-54.
- Crane D (1969) La diffusion des innovations scientifiques. *Revue française de sociologie* 10: 166-85.
- Crane D (1972) *Invisible Colleges. Diffusion of Knowledge in Scientific Communities*. Chicago: University of Chicago Press.
- Cristofoli P (2008) Aux sources des grands réseaux d'interactions - Retour sur quelques propriétés déterminantes des réseaux sociaux issus de corpus documentaires. *Réseaux* 152(6): 21.
- Devoret R (2001) At the Birth of Molecular Radiation Biology. *Environmental and Molecular Mutagenesis* 38(2-3): 135-43.
- Eckert D et Baron M (2013) Construire une géographie de la science. *M@ppemonde* 110(2): <http://mappemonde.mgm.fr/num38/intro.html>.
- Eckert D, Baron M et Jégou L (2013) Les villes et la science – Apports de la Spatialisation des données bibliométriques mondiales. *M@ppemonde* 110(2): <http://mappemonde.mgm.fr/num38/articles/art13201.html>
- Frenken K, Hardeman S et Hoekman J (2009) Spatial Scientometrics. Toward a Cumulative Research Program. *Journal of Infometrics* 3(3): 222-32.
- Friedberg EC (1997) *Correcting the Blueprint of Life - An Historical Account of the Discovery of DNA Repair Mechanisms*. Plainview NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Friedberg EC (2005) Reminiscences of a Long-time Colleague and Friend, Philip C. Hanawalt. *Mutation Research* 577: 9-13.
- Friedberg EC (2007) A Brief History of the DNA Repair Field. *Cell Research* 18(1): 3-7.
- Gaufrriaux M, Olesen Larsen P, Maye I, Roulin-Perriard A et von Ins M (2008) Comparisons of Results of Publication Counting Using Different Methods. *Scientometrics* 77(1): 147-76.
- Gläser J et Laudel G (2001) Integrating Scientometric Indicators into Sociological Studies: Methodical and Methodological Problems. *Scientometrics* 52(3): 411-34.
- Granjou C et Peerbaye A (2011) Sciences et collectifs. *Terrains & Travaux* 1(18): 5-18.
- Grossetti M et Mounier-Kuhn PE (1995) Les débuts de l'informatique dans les universités - Un moment de la différenciation géographique des pôles scientifiques français. *Revue française de sociologie* 36(2): 295-324.
- Hanawalt P (2003) Four Decades of DNA Repair - From Early Insights to Current Perspectives. *Biochimie* 85(11): 1043-52.
- Hanawalt P (2010) Growing Up with DNA Repair and Joining the EMS. *Environmental and Molecular Mutagenesis* 51: 890-96.

- Knorr-Cetina KD (1982) Scientific Communities or Transepistemic Arenas of Research? A Critique of Quasi-Economic Models of Science. *Social Studies of Science* 12(1): 101-30.
- Kuhn TS (1972) *La structure des révolutions scientifiques*. Paris: Flammarion.
- Laudel G (2003) Studying the Brain Drain. Can Bibliometric Methods Help?. *Scientometrics* 57(2): 215-37.
- Laurens P, Zitt M et Bassecoulard E (2010) Delineation of the Genomics Field by Hybrid Citation-lexical Methods. Interaction with Experts and Validation Process. *Scientometrics* 82(3): 647-62.
- Lemaine G, MacLeod R, Mulkay M et Weingart P (1976) *Perspectives on the Emergence of Scientific Disciplines*. Mouton: The Hague; Paris: Maison des Sciences de l'Homme.
- Lemercier C et Picard E (2010) Quelle approche prosopographique ? <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00521512/>.
- Leydesdorff L (1989) The Relations between Qualitative Theory and Scientometric Methods in Science and Technology Studies, Introduction to the Topical Issue. *Scientometrics* 15(5-6): 333-47.
- Lievrouw L, Rogers E, Lowe C et Nadel E (1987) Triangulation as a Research Strategy for Identifying Invisible Colleges among Biomedical Scientists. *Social Networks* 9(3): 217-48.
- Livingstone D (2003) *Putting Science in Its Place: Geographies of Scientific Knowledge* Chicago: University of Chicago Press.
- Maisonobe M (2013a) Analyses dynamiques et longitudinales de réseaux. *Synthèse du groupe fnr*. <http://halshs.archives-ouvertes.fr/FMR/>
- Maisonobe M (2013b) DNA Repair: A Changing Geography? (1964-2008). *DNA Repair* 12(7): 466-71.
- Morris SA et Van der Veer Martens B (2008) Mapping Research Specialties. *Annual Review of Information Science and Technology* 42(1): 213-95.
- Natarajan A (2007) Mutation Research: The origin. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research* 635(2-3): 79-80.
- De Solla Price DJ (1963) *Little Science Big Science*. New York: Columbia Univ. Press.
- Rogers EM (1962) *Diffusion of Innovations*. Glencoe IL: Free Press of Glencoe.
- Roth C (2005) Co-evolution in Epistemic Networks - Reconstructing Social Complex Systems. *Structure and Dynamics - eJournal of Anthropological and Related Sciences*. http://escholarship.org/uc/imbs_socdyn_sdeastructure and Dynamics 1(3), thèse de doctorat.
- Setlow R (2005) My Early Days in Photobiology with Philip Hanawalt. *Mutation Research* 577: 4-8.
- Setlow R et Setlow JK (1961) Soviet Cellular Biophysics 1950-1960. *Quarterly Review of Biology* 36(1): 1-49.
- Shapin S (1984) Talking History: Reflections on Discourse Analysis. *Isis* 75(1): 125-30.
- Shapin S (1995) Here and Everywhere: Sociology of Scientific Knowledge. *Annual Review of Sociology* 21: 289-321.
- Stofer R (2002) Comparaison de l'analyse structurale et de l'analyse scientométrique dans l'étude de la production scientifique. *Bulletin de Méthodologie Sociologique* 76: 45-64.
- Strasser B (2002) Totems de laboratoires, microscopes électroniques et réseaux scientifiques - L'émergence de la biologie moléculaire à Genève (1945-1960). *Revue d'Histoire des Sciences*, 55 (1): 5-44.
- Taramasco C, Cointet JP et Roth C (2010) Academic Team Formation as Evolving Hypergraphs. *Scientometrics* 85(3): 721-40.

- Torre A (2008) On the Role Played by Temporary Geographical Proximity in Knowledge Transmission. *Regional Studies* 42 (6): 869-89.
- Van Meter K (2006) Authors as “Artists” or “Heavy Weights” in Scientific Publishing. The Sociological Analysis of Scientific Literature by *BMS*. *Bulletin de Méthodologie Sociologique* 91: 25-39.
- Wray KB (2005) Rethinking Scientific Specialization. *Social Studies of Science* 35(1): 151-64.
- Yi D (2007) The Coming of Reversibility: The Discovery of DNA Repair between the Atomic Age and the Information Age. *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 37: 35-72.
- Zuckerman H (1988) The Sociology of Science. In Smelser NJ *Handbook of Sociology*, 511-74.